

4网络层

2019年5月4日 18:05



◆ 网络层提供的两种服务

1- 面向连接的Virtual Circuit虚电路

1. 可靠交付由网络负责实现
2. 沿着（逻辑上的）虚电路发送分组即可，首部只需填写虚电路编号
3. 传输完成后释放占用的虚电路
4. 减少了分组的开销，易实现不丢失不重复
5. OSI体系层推出过关于网络层可靠传输服务的虚电路服务标准建议，已成历史

2- 面向无连接的datagram数据报服务

1. 可靠交付由主机实现
2. 互联网的设计思路：网络层只需向上提供best effort delivery尽最大努力交付的、简单灵活、无连接的数据报服务（后来数据报常被称为“分组”）
3. 不需要建立连接，每个分组独立发送
4. 网络层不承诺服务质量，即出错、丢失、重复、失序都可能出现
5. 由主机中的运输层负责差错处理、流量控制等
6. 网络造价大大降低，运行方式灵活，兼容各种应用
7. 如今的互联网证明了这种思路的正确性

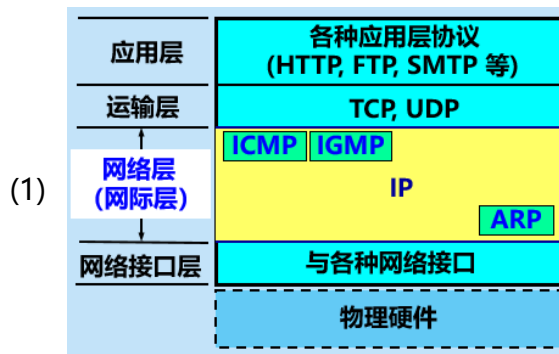
3-

对比的方面	虚电路服务	数据报服务
思路	可靠通信应当由网络来保证	可靠通信应当由用户主机来保证
连接的建立	必须有	不需要
终点地址	仅在连接建立阶段使用，每个分组使用短的虚电路号	每个分组都有终点的完整地址
分组的转发	属于同一条虚电路的分组均按照同一路由进行转发	每个分组独立选择路由进行转发
当结点出故障时	所有通过出故障的结点的虚电路均不能工作	出故障的结点可能会丢失分组，一些路由可能会发生变化
分组的顺序	总是按发送顺序到达终点	到达终点时不一定按发送顺序
端到端的差错处理和流量控制	可以由网络负责，也可以由用户主机负责	由用户主机负责



◆ Internet Protocol网际协议IP

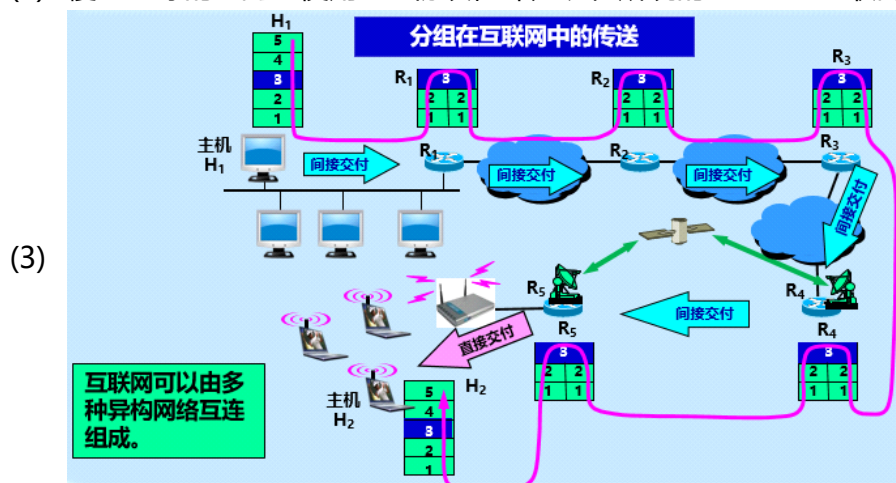
1. 是Robert Kahn和Vint Cerf共同研发的，二人于2005年获得图灵奖
2. 除了IPv6外一般都默认讨论的是IPv4因为其他几个版本都没被使用
3. 常与IP协议配套使用的三大协议
 - (1) Address Resolution Protocol地址解析协议ARP
 - (2) Internet Control Message Protocol网际控制报文协议ICMP
 - (3) Internet Group Management Protocol网际组管理协议IGMP
 - ☒ (4) 其实本来还有Reverse ARP逆解析RARP，DHCP出现后被淘汰了
4. TCP/IP协议族主要关系（上方协议需要使用下方协议）



5. 使用了IP协议的network layer网络层也被称为internet网际层或IP层

1- 虚拟互连网络

1. 将网络互连并互相通信，会遇到许多问题需要解决，如：不同的寻址方案；不同的最大分组长度；不同的网络接入机制；不同的超时控制；不同的差错恢复方法；不同的状态报告方法；不同的路由选择技术；不同的用户接入控制；不同的服务（面向连接服务和无连接服务）；不同的管理与控制方式等
2. 将网络互连的中间设备/中间系统/relay中继系统
 - (1) 物理层的repeater转发器：仅扩大网络
 - (2) 数据链路层的bridge网桥 或 桥接器：扩大网络顺便确认传到哪个接口
 - (3) 网络层的router路由器：真正能路由选择地实现不同网络间的互连
 - 1) 网桥和路由器的混合物：brouter桥路器
 - (4) 网络层以上的gateway网关：连接两个不兼容的系统，需要事先在高层做协议转换，较复杂用得较少
 - (5) 转发器和网桥连接后仍视为同一个网络，路由器和网关连接的才真正视为网络互连，路由器旧译也为网关
3. 虚拟互连网络/逻辑互连网络/IP网：利用IP协议将物理异构性的网络连成用户视角的统一网络
 - (1) 好处：通信时不用管网络内异构的各种细节
 - (2) 覆盖全球的IP网上使用TCP协议，即为现在所说的Internet互联网



2- 分类的IP地址

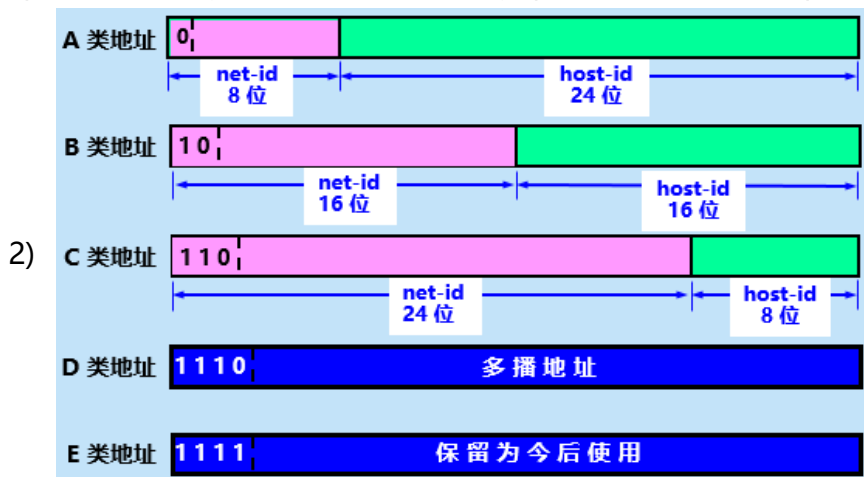
1. IP 地址及其表示方法，详见RFC791
 - (1) IP地址：给每台主机或路由器的每个接口分配一个世界范围内唯一的32位标识符，作用是方便寻址，分配者是Internet Corporation for Assigned Names and Numbers互联网名字和数字分配机构ICANN

(2) 编址方法三阶段

- 1) 分5类的IP地址，81年就通过了相应的标准协议
- 2) 子网划分，改进后的编址方法，85年通过
- 3) 构成超网，93年后才得到推广

(3) 最初的5类IP地址，前半段是net-id网络号，后半段是host-id主机号

- 1) IP 地址 ::= { <网络号>, <主机号> } (::=代表“定义为”)



- 3) ABC类都是单播地址（一对一通信）

- 4) 现在的路由选择基本都是使用无分类IP地址做路由选择了，ABC类地址已成为历史

(4) dotted decimal notation点分十进制记法：每八位之间加一个点，并转化为十进制（其实相当于加了点的四位256进制数）

2. 常用的三种类别的 IP 地址

一般不使用的特殊的 IP 地址

网络号	主机号	源地址使用	目的地址使用	代表的意义
0	0	可以	不可	在本网络上的本主机（见 6.6 节 DHCP 协议）
0	host-id	可以	不可	在本网络上的某台主机 host-id
全 1	全 1	不可	可以	只在本网络上进行广播（各路由器均不转发）
net-id	全 1	不可	可以	对 net-id 上的所有主机进行广播
127	非全 0 或全 1 的任何数	可以	可以	用于本地软件环回测试

- (2) 主机号全0表示本主机所连接到的单个网络地址，主机号全1表示本主机所在网络的全部主机，所以允许的主机数是 $2^n - 2$ ，此外：

- ☑(3) A类地址中：网络号0x00=0表示this本网络，不可指派（详见6.6节 DHCP），网络号0x7f=127表示loopback test环回测试，也不可指派

- (4) B类地址中：网络号0x8000=128.0不可指派

- (5) C类地址中：网络号0xC00000=192.0.0不可指派

- 1) (128=10000000, 129=10000001, 192=11000000)
- 2) (7=0111, 8=1000, C=1100, F=1111)

网络类别	最大可指派的网络数	每个网络中最大主机数	第一个可指派的网络号	最后一个可指派的网络号

(6)	A	126 ($2^7 - 2$)	16777214	1	126
	B	16383 ($2^{14} - 1$)	65534	128.1	191.255
	C	2097151 ($2^{21} - 1$)	254	192.0.1	223.255.255

3. IP地址的特点

(1) 是一种分等级的地址结构，好处是：

- 1) IP 地址管理机构在分配 IP 地址时只分配网络号，而剩下的主机号则由得到该网络号的单位自行分配。方便了 IP 地址的管理
- 2) 路由器仅根据目的主机所连接的网络号来转发分组（而不考虑目的主机号），这使路由表中的项目数大幅度减少

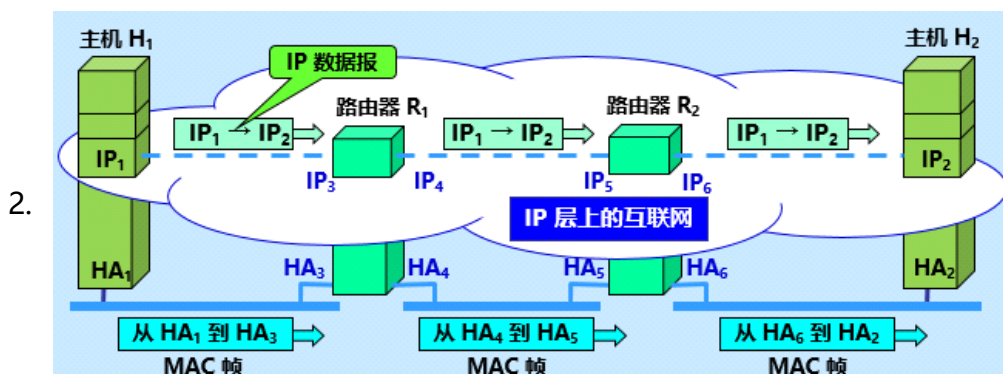
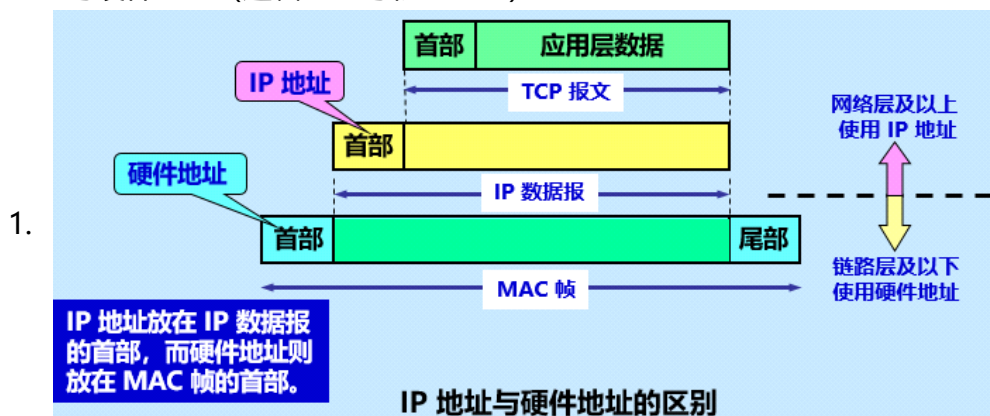
(2) 是标志一个主机（或路由器）和一条链路的接口

- 1) 当一个主机同时连接到两个网络上时，就必须同时具有两个相应的 IP 地址，其网络号 net-id 必须是不同的
- 2) 这种主机称为 multihomed host 多归属主机
- 3) 由于一个路由器至少应当连接到两个网络，因此一个路由器至少应当有两个不同的 IP 地址（如果两个路由器直接相连的话，倒是可以不分配 IP 地址，因为这段“网络”只有一条线，称其为 unnumbered network 无编号网或 anonymous 无名网）

(3) 用转发器或网桥连接起来的若干个局域网仍为一个网络，具有同样的网络号 net-id

(4) 所有分配到网络号 net-id 的网络，无论范围大小，都是平等的

3- IP地址与硬件地址（逻辑地址与物理地址）



- (1) 在 IP 层抽象的互联网上只能看到 IP 数据报
- (2) 路由器只根据目的站的 IP 地址的网络号进行路由选择

- (3) 在物理网络的链路层只能看见 MAC 帧而看不见 IP 数据报
- (4) IP 层抽象的互联网屏蔽了下层的复杂细节，在抽象的网络层上讨论问题，就能够使用统一的、抽象的 IP 地址研究主机和主机或主机和路由器间的通信

主机 H1 与 H2 通信中使用的IP地址 与 硬件地址 HA

	在网络层 写入 IP 数据报首部的地址		在数据链路层 写入 MAC 帧首部的地址	
	源地址	目的地址	源地址	目的地址
(5) 从 H ₁ 到 R ₁	IP ₁	IP ₂	HA ₁	HA ₃
从 R ₁ 到 R ₂	IP ₁	IP ₂	HA ₄	HA ₅
从 R ₂ 到 H ₂	IP ₁	IP ₂	HA ₆	HA ₂

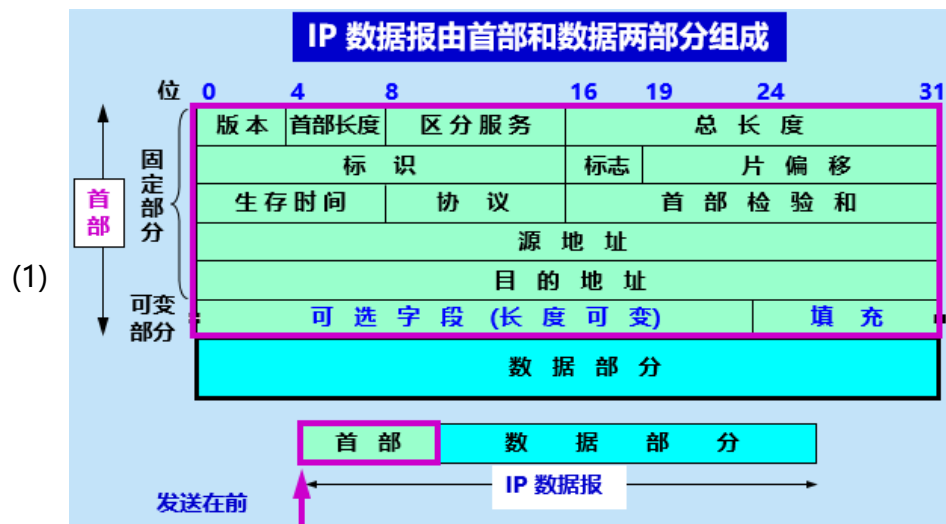
- (6) 路由表的详细得出方式见4.5
- (7) MAC首部的MAC目的地址由以下协议得出：

4- Address Resolution Protocol地址解析协议ARP

- (1) 不管网络层什么协议，在链路上数据帧总是要靠硬件地址的
1. 是根据IP地址求出MAC地址的协议，也可以视作数据链路层的协议
 2. 局域网各主机或路由器的IP地址到硬件地址的映射表
 - (1) 存在每个主机的ARP cache高速缓存，里面内容是：
 - (2) < IP address; MAC address; TTL >
 - (3) 其中Time To Live是地址映射有效时间，一般为十数分钟
 3. 工作步骤：
 - (1) 能查到目的IP对应的MAC地址就直接发
 - (2) 查不到的话由ARP进程向局域网上广播发送一个请求分组，内容大意是：IP源址x硬件地址xx请求IPxxx对应的MAC地址
 - (3) 其他主机的ARP进程都会受到该请求分组
 - (4) 对应主机的ARP进程单播发送一个响应分组
 - (5) 双方各自在表内添加对方的新表项，避免短时间内反复广播的通信量
 - (6) 以上从IP地址到硬件地址的解析是自动进行的，主机用户看不到过程
 4. 典型的四种使用情况
 - (1) 主机想找同网的另一主机，求其硬件地址
 - (2) 主机想找不同网的另一主机，求最近路由器的硬件地址
 - (3) 路由器想找同网主机，求其硬件地址
 - (4) 路由器想找不同网主机，求下一跳路由器的硬件地址
 5. 逻辑地址到物理地址的转换过程似乎很复杂，为什么一定要用IP地址呢
 - (1) 世界各地的网络使用各种各样的硬件地址，由硬件或软件完成异构网络通信的硬件地址转换是几乎不可能的
 - (2) 而IP地址使各种主机仿佛连接在同一个网络上一样，且ARP是软件自动进行的，给用户带来了方便

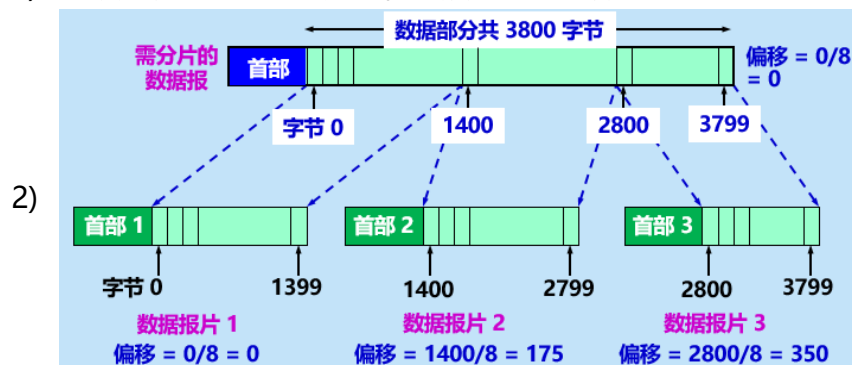
5- IP数据报的格式

1. 格式：首部+数据部分



2. 首部固定部分

- (1) 版本4位（取值4或6）：IP协议的版本
- (2) 首部长度4位（取值5~15）：首部位数是32的几倍
- (3) 区分服务8位：Differentiated Services，详见8.4.4
- (4) 总长度16位：首部+数据的总长度是几字节，超出数据链路层的Maximum Transfer Unit时会被分片，然后会改成分片后的长度
- (5) 标识16位：方便分片后再拼回去，这个标识由IP软件提供
- (6) 标志3位：相当于三个逻辑变量，最左的暂时没用
 - 1) 最低位为More Fragment，为0时表示这是最后一片片片
 - 2) 中间位为Don't Fragment，为1时表示不允许分片
- (7) 片偏移13位：指出分片在原分组中的位置是64位的几倍处
 - 1) 也就是说每个切片的起点位必须在64的整数倍处



3)

	总长度	标识	MF	DF	片偏移
原始数据报	3820	12345	0	0	0
数据报片1	1420	12345	1	0	0
数据报片2	1420	12345	1	0	175
数据报片3	1020	12345	0	0	350

- (8) 生存时间TTL 8 位：减为0后视作交付失败，直接丢弃，现在的实际功能不是以时间为单位，而是以转发过的跳数，即转发一次减一个1
- (9) 协议8位：指出数据报的协议内容，方便目的主机的IP层决定上交方式
 - 1) 具体的可以在www.iana.org查到
- (10) 首部检验和16位：将除检验和以外的首部分成多个16位字，用异或求和（最高位进1要进到最低位），把和的反码填入这个字段；接收方把包括检验和的

首部分成多个16位的字，求和，得全1就认为无误

(11) 最后是源地址和目的地址各32位

3. 首部可变部分

(1) 是一个选项字段，长度1~40字节，可用于排错、测量、安全

(2) 注意字段内容不足32位整数倍时，末尾要填充0

(3) 可变长度部分的存在增加了路由器处理数据报的开销，于是v6固定了首部的长度

6- IP层转发分组的流程

1. 分组转发算法

(1) 从数据报的首部提取目的主机的IP地址D，得出目的网络地址为N

(2) 若网络N与此路由器直接相连，则把数据报直接交付目的主机D；否则是间接交付

(3) 若路由表中有目的地址为D的特定主机路由，则把数据报传送给路由表中所指明的下一跳路由器

(4) 若路由表中有到达网络N的路由，则把数据报传送给路由表指明的下一跳路由器

(5) 若路由表中有一个默认路由，则把数据报传送给路由表中所指明的默认路由器

(6) 报告转发分组出错

2. 路由表的内容：

(1) 每行对应一个网络，第一列是目的网络IP（末尾全0）

(2) 每行第二列是下一跳地址，对应到这个网络的拓扑结构的下一结点

(3) 下一跳为另一个地址时表示需要间接交付给别的路由器；为零时表示本路由器与目的主机在同一网络，可以直接交付

(4) 偶尔会发现第一列不是末尾全零的网络而是指定主机的IP地址，这是网管为了方便控制或测试网络或考虑安全问题时设的特定主机路由

3. default route默认路由行的第一列是全0

(1) 路由器对外连接较少时甚至可以直接不搜路由表，直接交给默认路由

4. 传送给下一跳的意思：由网络接口软件按ARP协议，将下一跳IP地址转为MAC地址，再交给数据链路层作为首部，由数据链路层转发给它

1)

2)

3)

4)

5)

6)

7)

8) -----我是底线-----